

中华人民共和国水利电力部制订

过电压保护规程

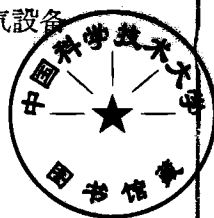
适用于 3~220 千伏交流电气设备

水利电力出版社

中华人民共和国水利电力部制订

过电压保护规程

适用于 3~220 千伏交流电气设备



水利电力出版社

中华人民共和国水利电力部制訂
过电压保护規程
适用于 3~220 千伏交流电气设备

*

2251 G 185

水利电力出版社出版 (北京西郊科学院路二里内)

北京市书刊出版业营业登记证出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印

新华书店科技发行所发行 各地新华书店經售

*

787×1092 $\frac{1}{32}$ 开本 * 2 $\frac{1}{2}$ 印張 * 62千字 * 定价(第7类)0.25元

1959年11月北京第1版

1959年11月北京第1次印刷(0001—17,520册)

中华人民共和国水利电力部

关于修訂頒发“过电压保护規程”的通知

(59)水电技程字第218号

我部根据近年来电力建設和生产运行的經驗，并参考了苏联及其他国家的有关技术资料，对前电力工业部 1956 年所頒发的“过电压保护导則”进行了修訂。在修訂的过程中，曾利用西安高压技术科学报告会广泛征求了各有关方面的意見之后，又专门召开了审訂會議，現已修訂完毕，改名为“过电压保护規程”，正式頒发实行。自即日起 1956 年頒发的“过电压保护导則”作廢。

本規程在修訂后，一般地反映了当前的技术水平并概括了我们現有的工作經驗。我部电力系統的基建、設計、生产及試驗单位皆应学习与貫徹执行。但是象其他技术規程一样，它是为在电力建設和生产中全面貫徹多快好省方針服务的，特别是在过电压保护工作中，所采取的措施在很大程度上与地区气象条件有关。因此，在严肃对待这个規程的同时，必須貫徹因事因地制宜的精神；凡是根据具体情况和运行經驗，对規程的規定作一些相应的改变时，原則上是允許的，但必須慎重从事，并报請省(市)电力厅(或电业管理局)批准和抄告本部技术司备查。

1959年9月9日

目 录

第一章 总则	3
第二章 避雷針和避雷綫	16
第三章 接地装置	7
第四章 避雷器和保护間隙	33
第1节 閘型避雷器	33
第2节 管型避雷器	34
第3节 保护間隙	36
第五章 架空电力綫路的保护	37
第1节 綫路的一般保护	37
第2节 綫路交叉部分的保护	41
第3节 大档距和特殊杆塔的保护	43
第六章 发电厂和变电所的保护	44
第1节 发电厂和变电所直击雷的保护	44
第2节 配电装置对由綫路侵入雷电波的保护	46
第七章 旋轉电机的保护	53
附录1 冲击接地电阻計算例	57
附录2 閘型避雷器的电气特性(撫順电瓷厂1959年产品)	63
附录3 管型避雷器的特性和排气范围	64
附录4 雷击有避雷綫綫路杆頂耐雷水平的确定	66
附录5 装有避雷綫的綫路单位遮断次数的确定	70
附录6 无避雷綫門型电杆綫路单位遮断次数的确定	71
附录7 35~220千伏架空电力綫路常用杆塔的耐雷水平和单位 遮断次数	72
附录8 电力綫路耐雷水平和单位遮断次数計算实例	74
附录9 跨越档距耐雷水平計算	76
附录10 用避雷針保护变电所的实例	79
附录11 旋轉电机主絕緣和匝間絕緣允許电压的估計	82
附录12 旋轉电机电波的特性	84
附录13 3~10千伏三相电綫的波阻	85
附录14 电綫中电波的衰减	86

第一章 总 則

第1条 对絕緣有危险的电压升高及电位差升高，称为过电压。

过电压可分为两种：内部过电压和大气过电压。

在110千伏及以下的电网中，当有一般的保护措施时（中性点接地，装設性能良好的磁吹避雷器，采用适当特性的开关装置，采用具有鉄芯弱饱和的电器或变压器，消除或制止共振回路，采用速动保护装置等），内部过电压对正常絕緣一般是沒有危险的。但是，在不符合上述一般保护措施时，絕緣水平較低时以及对許多特殊的設備（如电弧炉等），仍需注意考虑内部过电压。

在220千伏及以上的电网中，絕緣水平的选择在很大程度上决定于内部过电压。

防止架空电力綫路雷害事故的基本方法是装設接地的避雷綫、利用木質絕緣以及自动重合閘等方法。

配电装置防止直接雷击的方法，是装設避雷針；防止侵入过电压波的方法，是用閘型避雷器和在进綫段上装設进綫保护避雷綫或避雷針。

选择防雷措施时，应按照本地區的雷电活动情况，系統的中性点接地方式和被保护設備的絕緣情况，有无自动重合装置等，并根据技术和經濟的比較結果决定。

第2条 内部过电压可分操作过电压和諧振过电压。操作过电压主要是由系統中电弧的重燃或熄灭所引起的。諧振过电

压主要是在各次諧波下由回路参数諧振而产生的。

对設備絕緣来讲，比較重要的内部过电压有：

1. 切断电容性負荷时的过电压；

2. 切断电感性負荷时的过电压；

3. 中性点不接地或經高阻抗接地的电网中，不稳定电弧接地时的过电压；

4. 电网或电网中的一部分因諧振或鉄磁諧振所产生的过电压；

5. 在对称与不对称状态下由电机自励磁所引起的过电压。

考虑操作过电压时，还应考虑到随突然失去負荷、系統短路和空載綫路的电容效应等原因所引起的工作电压升高。这些动态电压的升高，对正常絕緣是沒有危险的，但当与操作过电压同时出現时，便可能产生很高的过电压。

第3条 切断空載綫路或并联电容器組时可能产生过电压。

开关中的电流在經過零值时熄灭后，导綫上剩有維持其电压近于灭弧瞬間电源电压的电荷。若开关不重燃，这一电压将因綫路电导而逐漸衰减。若被切綫路长度很大时，电压波上还将附加有由于反射而形成的高頻振蕩电压。

若在电容被切断的半波后，开关触头間发生重燃，并在高頻振蕩电流零值时熄弧，由于电荷重新分配所引起的电压振蕩将在母綫、綫路和开关触头間发生很高的过电压。当切断长綫路时，綫路上的过电压将附加有与綫路长度有关的高頻振蕩电压。

这一过电压的幅值，与被切电容和母綫侧电容的大小有关，也与重燃时开关触头間的电位差有关。过电压幅值和开关重燃次数沒有簡單直接的关系。重燃次数增加，能增加高幅值

过电压出现的或然率，因而使实际出现的过电压倍数也有增长的趋势。

在中性点直接接地的系统中，切断 110 千伏及以上无负荷线路所引起的过电压，一般不超过 $2.0U_0$ 。中性点不接地或经消弧线圈接地的系统中，能够产生较大的过电压。

为限制和降低切断空载线路时的过电压，可使用有并联电阻的开关、磁吹避雷器、并联电抗器、电压互感器以及自耦变压器。这些措施可将切断空载线路时的过电压限制到 $2.5U_0$ 以下。

第 4 条 切断电感负荷时，由于开关设备的强制熄弧，随电感电流的遮断，电感中的磁能将转变为静电能，因而可能出现很高的过电压。

在电网中，切断无负荷变压器及非同期电动机，熔断器熔断，切断水银整流器中的电流以及消弧线圈系统中发生两相接地一回线路跳开时，都可能发生高幅值的过电压。

切断无负荷变压器或电抗器的过电压，与开关结构、回路参数、中性点接地方式、变压器接线和构造等很多因素有关。在中性点直接接地的电网中，切断 110~220 千伏无负荷变压器的过电压，一般不超过 $3.0U_0$ 。中性点不接地或经消弧线圈接地的 35~60 千伏电网中，切断无负荷变压器的过电压，一般不超过 $4.0U_0$ 。

切断电感负荷时的过电压，多为持续时间很短的高频振荡波，对绝缘的作用与雷电冲击波相似，完全可以用磁吹避雷器予以限制，必要时也可以用普通阀型避雷器来限制。装有并联电阻的开关，也可以有效地限制切断电感负荷时的过电压。

第 5 条 在中性点不接地的电力网中所发生的单相接地有三种形式，即：**金属性接地**、**稳定电弧的接地**和**间歇性电弧的**

接地。在大多数情况下,接地电弧都具有稳定的性质,并且故障相对地的电位实际上等于零,而无故障相上的过电压接近于金属接地时可能产生的过电压。其过电压数值低于 $2.3U_0$,相当于发生接地瞬间无故障相上的最初电压升高。

间歇电弧,即在接近一个周波的时间之后熄灭的电弧,有时重燃的电压可能很小(小于工作时的相电压),但有时,重燃时的电压却增高很快。

从过电压的数值来看,间歇电弧最危险,因其重燃电压由于间隙中的迅速去电离作用而增高。

根据测量结果,这种过电压一般不超过 $3U_0$ 。

电弧接地过电压与电容电流数值没有简单直接的关系。电容电流大时,电弧变得比较稳定,不再中断,这样还可能使过电压降低。

由于接地电弧所产生的短时间过电压,对具有正常绝缘的电机、线路、变压器及其他电器都没有危险。

中性点经消弧线圈接地时,大部分情况下不会破坏正常运行而迅速消除单相的瞬间接地电弧,并且限制这时所产生的过电压值不超过 $2.3U_0$ 。但当消弧线圈调整不当,脱谐度较大(如大于10%)时,最大过电压与中性点不接地时相同,但可以降低高振幅过电压出现的或然率。

第6条 无载的长电力线路,由于导线电容的效应,可使线路的工频电压升高。220千伏及以下的线路,一般约能升高10~15%。远距离超高压输电线路,末端电压可能升高很多。

当系统发生非对称短路时,无故障相上可引起工频电压的升高。其升高的倍数,决定于系统的正序、负序和零序的阻抗以及故障点接地电阻的数值。在长线路和某些特殊结线的电网中,由于谐振可能使无故障相的电压升压很多。

非对称短路与切除负荷同时发生时，电网的工频电压可达到很高的数值。如在切除负荷时发电机发生超速现象，工频电压将上升到更高的数值。

第7条 电力网中对称被破坏时，可能由于所谓变压器电压的一相“反倾”而产生过电压。这种现象与工作频率下的铁共振有关，共振回路是由变压器的电感和部分导线电容所组成。

“反倾”现象只有变压器的负荷很轻时才可能产生。“反倾”现象所引起的过电压是由于某些事故的结果，因为这些事故经常在迅速自动切断故障段的时候发生。此外，过电压还可能由于振荡和三相系统的中性点位移而发生。这种电压升高可能在三相上都一样（对称的），也可能不一样。其振幅大都不超过 $3U_\phi$ 。消除此种过电压的方法是改变电力网中电感与电容之比，并利用电阻使损失增大而限制振荡。

第8条 电力系统中突然失去负荷后，由于线路电容对电机的助磁作用和电机转速升高，能产生动态过电压。这一电压可达 $1.2 \sim 1.4U_\phi$ 。对称短路后切除故障时，由于强行励磁和电机转速升高，也同样能发生动态电压升高。这一电压升高受电机铁芯饱和的限制，一般不超过 $1.6U_\phi$ 。

动态电压升高与操作过电压同时出现时，可能产生幅值很高的电压。在超高压远距离输电中，动态过电压具有很重要的作用，必要时应采用并联电抗器或速断继电保护等措施予以限制。

第9条 中性点接地方式不但对内部过电压可能发生的幅值有影响，并且对高压电器及变压器的绝缘水平亦有影响。中性点接地方式一般有下列二种：

1. 中性点直接接地；

2. 中性点非直接接地(包括經消弧綫圈接地或不接地)。

第10条 所有变压器或部分变压器中性点直接接地, 能降低由于切断电感或电容时所发生的过电压, 和降低由于接地短路等所引起的过电压。

中性点直接接地时, 所采用的閘型避雷器的击穿电压和殘压(較中性点不接地时避雷器的击穿电压和殘压)降低20%或者更多。

110千伏及以上的电网, 在一般情况下应采用中性点直接接地方式。

第11条 在下列情况下, 变压器中性点应經消弧綫圈接地: 20~60千伏的电力网中, 接地电流大于10安时; 6~10千伏的电力网中, 接地电流大于30安时。

第12条 与发电机有电气联系的3~10千伏的电路中, 如接地电流大于5安时, 若要求发电机能带单相接地故障运行, 可装設消弧綫圈以补偿电容电流。必要时消弧綫圈可以装在发电机的中性点上。

第13条 雷电对地放电, 开始是所謂先驅閃电路向地伸展, 先驅閃电路移动的速度比較小, 約为 $(1\sim2)\times 10^7$ 厘米/秒。

先驅閃电路带有一部分雷云的电荷(大多数为負极性), 这使先驅閃电路的端部有极高的电位(約达10,000千伏)。当先驅閃电路接近大地时, 主放电即开始, 主放电从大地向雷云傳播的速度非常大(光速的0.5~0.1)。主放电的特点是放电电路的强烈光輝, 同时在雷击地方流过大量的雷电流。

被击物通过大量雷电流是“直击雷”过电压的起因。由于中和过多的电荷时, 先驅閃电路的电場剧烈改变, 于是引起感应过电压。

在距輸电綫路的距离 $S>50$ 米处, 发生雷云对地放电时,

在輸電綫路的導線上，就會產生感應過電壓，該過電壓的近似振幅可以按下式求得：

$$U_u = 25 \times \frac{I_{\text{м}} \times h_{cp}}{S} \text{ 千伏。}$$

式中 $I_{\text{м}}$ ——雷電流振幅，千安；

h_{cp} ——導線懸挂的平均高度，米；

S ——直接雷擊距綫路的距離，米。

感應過電壓的振幅，只有在極少的情況下才達到500~600千伏。由於雷擊地點的電阻一般都非常大，所以最大電流值可採用 $I_{\text{м}} \leq 100$ 千安。

輸電綫路杆塔上受雷直擊時，在絕緣上即產生電壓，此電壓不但決定於經過被擊物的雷電流，並且也決定於感應過電壓。當雷直擊於杆塔或與輸電綫路距離 $S < 50$ 米的獨立避雷針上時，感應過電壓的近似值可按第18條進行計算。

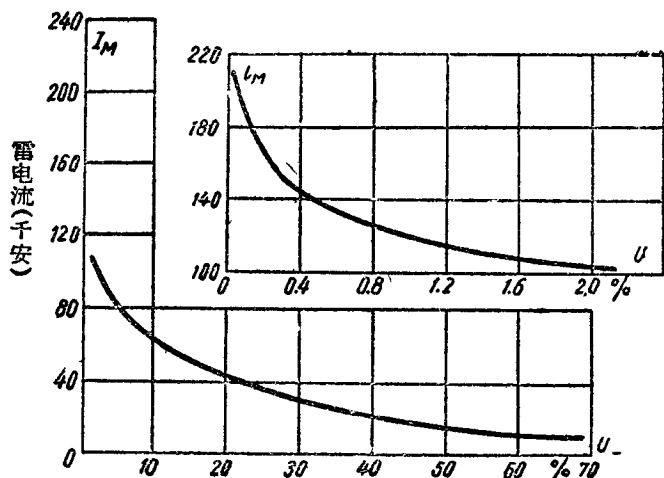
第14條 所謂雷電流，一般是指直接雷擊時，經過低接地電阻被擊物中的電流。

海拔500米以下、土壤電阻率小於 5×10^4 歐·厘米的地方，雷電流振幅值的大概分布情況列於圖1中。超過雷電流振幅 $I_{\text{м}}$ 的或然率 $v\%$ 可以按下式求得：

$$\lg v\% = 2 - \frac{I_{\text{м}}}{60} \quad (1)$$

在山岩地區，可能發生的最大雷電流顯著下降。根據測量結果：700米以上的山岩地區，土壤電阻率大於 5×10^4 歐·厘米時，計算雷電流可以取較圖1中減小一半的數值，而其分布的百分數不變。

第15條 根據測量結果，雷電放電的陡度大於50千安/微秒的可能性非常小。在計算中可採用這一陡度作為極限值。



超过纵座标数值的雷电流百分数

图1 海拔500米以下地区的雷电流偶然率曲线

本导则对雷电流计算用波头的形状系取半余弦波的形状，

即

$$i = \frac{I_M}{2}(1 - \cos \omega t).$$

最大的陡度在波头的中间，等于

$$\left(\frac{di}{dt} \right)_{\text{max}} = \frac{I_M \times \omega}{2} = 50 \text{ 千安/微秒}.$$

雷电流为100千安，或大于100千安时，计算中都采用50千安/微秒的陡度，因此，等于余弦波半周的波头长度：

$$T_\phi = \frac{\pi I_M}{100}.$$

式中 I_M ——雷电流，千安；

T_ϕ ——波头长度，微秒。

雷电流为50~100千安时，在计算中取波头长约为3微秒。

取余弦波作为計算用波头的形状时，是假定实际雷电放电中，最大陡度不象斜角波时一样保持在整个雷电流波头中，而余弦波的最大陡度却只在波头的中間一点。

但是比較計算說明，实际上用固定陡度約为 $\frac{100}{\pi} = 32$ 千安/微秒的斜角波，可以得到同样的結果。

第16条 本規程中在計算雷击点的电压时，假定：数值和形状都保持不变的雷电流通过該点的全电阻（例如：通过杆塔、杆塔的接地装置以及通向相邻杆塔的避雷綫等）。

計算絕緣的导綫或避雷綫在档距中央的电位时，假設雷击瞬間电流振幅减小到雷电流的二分之一。然后由于邻近杆塔来的反射，使电流增大。

同时假設避雷綫上或导綫上的电波經過雷击点时，沒有任何反射。后面第五章所述的耐雷水平計算中，波阻段以集中的电感来代替。

引用雷电路波阻的概念（ $Z_0 = 300$ 欧），与用多次反射方法所求得的结果实际上是相同的。

第17条 計算导綫及避雷綫上的波阻和电波的傳播速度以及耦合系数时，只要导綫上或避雷綫上的电压不大于电量电压，就不会很困难。电量作用大的时候，就使电波傳播过程大为复杂，并且使波阻减小，使耦合系数增大，以及电波的傳播速度减小。

对电量影响的准确計算尙有困难，因为有电量时的測量，大多数在静态下的短导綫上进行，所得結果不能适用于輸电綫路上进行波的情况，这时电量的影响要小得多。目前只能大略估計在有电量时綫路的波动参数及电波的运动速度。

雷击杆塔时，导綫及避雷綫上的波阻取 400 欧，而两根避

雷綫上的波阻为 250 欧。这些数字是当杆塔上导綫及避雷綫的位置为最标准的情况下取得的，同时假设：由于电暈的作用，波阻降低 20~30%，不需要在各种情况下来单独确定这些数字，因为在确定波阻时，不大的誤差，对于具有很大比較性质的計算結果的影响很小。由于雷击杆塔时，导綫及避雷綫的电位比較小，此时波的傳播速度等于光速。

雷击避雷綫的档距中間时，电位較雷击杆塔时高得多，因此电暈的影响較大。在計算中取避雷綫的波阻等于 350 欧，电波的計算傳播速度为光速的 0.75 倍。

由于电暈作用，使避雷綫的波阻减小，所以导綫与避雷綫間的耦合系数增大很多。考虑电暈的耦合系数可以用几何耦合系数 k_0 和校正系数 k_1 来表示(几何耦合系数决定于导綫及避雷綫的几何尺寸及其排列位置)，即：

$$k = k_1 k_0.$$

雷电直击塔頂时，可按表 1 取校正系数 k_1 。

表 1 校正系数 k_1 的数值

綫路的额定电压(千伏)	2~35	60~110	154~220
两条避雷綫	1.1	1.2	1.3
一条避雷綫	1.2	1.3	1.4

雷击避雷綫档距中間时，校正系数可以取 1.5。

按照表 2 采取杆塔的波阻。

第18条 雷直击于輸电綫路的杆塔或避雷綫上时，作用在絕緣上的，不但有雷电流經過被击物时产生的电压，同时还有感应过电压。

为了計算感应过电压，采用由于先驅閃电路的电荷中和时

表 2

杆塔的波阻

杆 塔 型 式	杆 塔 波 阻 (欧)
有两条引下线的H型木杆	250
有四条引下线的AH型木杆	180
塔型铁塔	150
门型铁塔	125

电场迅速变化所引起的“静电分量”。主放电路电流（“电磁分量”）迅速变化对输电线路导线的影响，可在计算“杆塔电感”时考虑在内，该电感决定于杆塔——导线与大地间环路所包括的全部磁束。

感应过电压振幅的近似值可由下式求得：

$$U_u = a \times h_{cp} \text{ 千伏。}$$

式中 h_{cp} ——输电线路导线的平均悬挂高度，米；

a ——随雷电流振幅而变的系数，见表 3。

表 3

系数 a 的数值

a (千伏/米)	30	25	20
I_m (千安)	200	150	100

杆塔绝缘上的电压 U_{us} 可由下式求得：

$$U_{us} = (U_{on} + U_u) \times (1 - k). \quad (2)$$

计算杆塔上的电压 U_{on} 时，假设杆塔上电流在波头范围内重复出现雷电流的波形 $i_{on} = m \times i_m$ ，也就是成余弦波形状。这种假定在计算邻近杆塔上雷电流分流的部分 $(1 - m)$ 时，能得到很简单的公式。

在計算保护水平时，絕緣上的电压是在雷电流最大瞬間求得的，这时，杆塔电感中的电压降等于零，并且与絕緣的50%放电电压相等。这种方法使計算簡化很多，同时能得到很准确的结果。因为杆塔电感上的最大电压，是发生在短的預放电時間內，而此时絕緣的放电电压也超过50%放电电压很多。况且在电流最大时，感应过电压也最大。对于很高的杆塔（跨越河流等），必須更精确地計算，仔細考虑杆塔电感的电压降及絕緣的伏秒特性。

第19条 所謂单位遮断次数是指一年中雷电日数为40,100公里綫路（同杆塔多回綫按一路計算）的遮断次数。单位遮断次数的計算，可以比較各种綫路中防雷措施的效果。

单位遮断次数可按下式求得：

$$n = N \frac{v}{100} \times \eta.$$

式中 N ——100公里綫路一年中的直击雷次数；

v ——大于綫路保护水平的雷电流的或然率（百分数）；

η ——遮断次数与閃絡次数之比（即建弧率）。

100公里綫路一年中的直击雷次数，可以由一平方公里地面上的平均雷击次数及由綫路受雷击的面积求得。

据不完整的統計資料得出：每一雷电日，一平方公里的平均雷击次数大約为0.06。

直击雷面积系一矩形，其一边为綫路长度，而另一边可以取 $8 \sim 10h_{cp}$ （ h_{cp} ——被雷击綫路的避雷綫或导綫的平均高度）。

因此，如每年雷电日为40时，100公里长的綫路，其每年雷击次数 $= 0.01h_{cp} \times 100 \times 40 \times 0.06 = 2.4h_{cp}$ ， h_{cp} 系以米表示。

在确定每年雷电日数的时候，不宜根据一般的雷电分布